

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАССУЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ

© 2021 г. Д. В. Зайцев¹, А. И. Ковалев^{2,*}, А. А. Кисельников², Н. В. Зайцева¹, К. Г. Поворова²

¹ *Философский факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ломоносовский просп., 27, корп. 4, Россия*

² *Факультет психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
125009 Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 9, Россия*

**E-mail: artem.kovalev.msu@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.06.2021 г.

После доработки 30.07.2021 г.

Принята к публикации 05.08.2021 г.

В данной работе была поставлена цель с применением поведенческих и глазодвигательных параметров дифференцировать процессы рассуждения на примере различных типов пропозициональных умозаключений. Использовались два варианта каждого из типов (Modus Ponens, Modus Tollens, Modus Tollendo Ponens, Modus Ponendo Tollens) (правильный и неправильный или с различными видами дизъюнкции). Регистрация движения глаз осуществлялась с применением устройства SMI Hi-Speed при частоте регистрации 1250 Гц. Были обнаружены статистически значимые различия в показателях времени решения, количества и длительности фиксации, количества и скорости саккад, а также длины пути в зависимости от типов и вариантов решаемых умозаключений. Полученные данные подтверждают, что при помощи технологии айтрекинга можно дифференцировать различные типы умозаключений.

Ключевые слова: айтрекинг, когнитивные процедуры, умозаключения, рассуждения, логика

DOI: 10.31857/S0235009221040065

ВВЕДЕНИЕ

Изучение механизмов рассуждений является очень актуальной комплексной междисциплинарной задачей когнитивной психологии, когнитивной нейронауки, философии, логики, компьютерных наук и искусственного интеллекта. Сложность этой задачи требует реального, а не декларативного, как это часто бывает, междисциплинарного синтеза на разных методологических уровнях.

Эмпирические исследования мышления, как высшей психической функции, можно обоснованно рассматривать как более трудную задачу по сравнению с исследованием памяти, внимания или восприятия. Это обусловлено тем, что процессы мышления являются наиболее сложными и высокоуровневыми когнитивными процессами и, в отличие от других когнитивных процессов, их невозможно явно представить в результатах обработки сенсорной информации или формирования каких-либо следов, элементов сознания. Кроме того, мыслительные процессы, как и другие сложные психические процессы, не имеют строгой мозговой локализации, поскольку обеспечиваются целыми распределенными ансамбля-

ми нейронных центров в основном в ассоциативных зонах коры головного мозга. По-видимому, в силу данных причин, в области эмпирического исследования процессов мышления акцент сделан на прикладных аспектах, например, изучении принятия решений в сфере экономики и маркетинга. Вследствие этого работы, посвященные анализу внутренней динамики мыслительных актов, чаще выполняются в сфере философии, а не строгой экспериментальной психологии.

Логико-философский анализ процесса мышления, в частности рассуждений, также имеет определенную специфику, обуславливающую трудность получения значимых результатов. Принятая в современной философской логике трактовка рассуждений преимущественно ориентирована на использование в научном дискурсе. Попытки ее применения к анализу естественных обыденных рассуждений наталкиваются на серьезные затруднения. Целый ряд логически некорректных рассуждений рассматривается неискренними в логике людьми как правильные, и наоборот, логически корректные способы перехода от посылок к заключению зачастую не вызывают доверия у обычных людей, рассуждающих

на уровне здравого смысла. Кроме того, вопрос об элементарных рассуждениях (умозаключениях) как “строительных кирпичиках” процесса рассуждений в большинстве случаев решается конвенционально: исследователь может либо ориентироваться на традицию классической формальной логики, либо на свое усмотрение выбирать из множества относительно простых рассуждений базовые, используя их для обоснования более сложных рассуждений.

Таким образом, использование логико-философской парадигмы, в качестве теоретической основы возможных экспериментальных исследований, требует прояснения и уточнения: эмпирических критериев правильности (естественных) рассуждений и эмпирических критериев разделения рассуждений на элементарные (умозаключения) и комплексные. В данном исследовании акцент сделан на второй проблеме. Мы выдвигаем предположение о том, что глазодеятельные параметры позволят изучить различные виды умозаключений, что поможет, на наш взгляд, уточнить типологию рассуждений и тем самым внести вклад в формирование междисциплинарной теории естественных рассуждений. Создание такой теории важно и само по себе — как новый этап изучения человеческого мышления и как решение прикладных задач адекватного представления процессов обработки и хранения информации для проекта создания искусственного интеллекта.

Современная философская логика основана на принятии предпосылки об обязательной вербальной реализации исследуемых интеллектуальных процедур. Это означает, что в логике рассматриваются рассуждения не как ментальный процесс (reasoning), а как его результат, зафиксированный в языке (argument). Соответственно и рассуждение понимается как процедура пошагового обоснования какого-либо утверждения с помощью других высказываний, т.е. упорядоченная последовательность высказываний. При этом выделяются элементарные рассуждения — умозаключения, понимаемые как непосредственный переход от высказываний, называемых посылками, к высказыванию, называемому заключением. В результате любое рассуждение можно представить как систему умозаключений, в которых заключения могут играть роль посылок последующих умозаключений.

Существует определенная традиция, зафиксированная на ранних стадиях развития науки в традиционной формальной логике, согласно которой основные типы умозаключений просто постулируются. В некоторых случаях выбор таких элементарных базовых умозаключений не вызывает сомнений, как, например, в случае рассуждения по схеме Modus Ponens (MP): Если *A*, то *B*.

Имеет место *A*. Следовательно, имеет место *B*. Содержательный пример: “Если идет дождь, то трава мокрая. Идет дождь. Следовательно, трава мокрая”. Очевидно, что умозаключение этого типа является фундаментальным и лежит в основе любых рассуждений и систем рассуждений, в том числе и с точки зрения ряда исследователей у животных (Burge et al., 2010; Bermúdez, 2006), хотя с этим согласны далеко не все (Aguilera, 2018).

В то же время отнесение умозаключений по схеме Modus Tollens (MT) или Modus Tollendo Ponens (MTP) к базовым и фундаментальным обоснованно вызывает сомнения (Modus Tollens: Если *A*, то *B*. Не имеет места *B*. Следовательно, не имеет места *A*. Modus Tollendo Ponens: *A* или *B*. Неверно, что *A*. Следовательно, имеет место *B*). Укажем лишь некоторые наиболее очевидные причины таких сомнений.

Во-первых, как свидетельствуют многочисленные исследования (Evans et al., 1995; Evans, 2015; Eva et al., 2019), если MP расценивается как правильный способ рассуждений подавляющее большинство респондентов, MT или MTP имеют куда меньшие показатели валидности. Согласно работе (Evans et al., 1995), адекватную оценку рассуждениям по схемам MP и MT дают соответственно 99 и 63% участников экспериментов, а неправильные схемы условно-категорических умозаключений распознали около 40% респондентов.

Во-вторых, MT может быть достаточно прозрачно обоснован с использованием MP и способа рассуждений от противного. Пусть имеют место — *Если A, то B и неверно, что B*. Требуется вывести *неверно, что A*. Допустим от противного, что *имеет место A*, тогда из этого допущения и первой посылки по MP непосредственно получаем *B*, что противоречит второй посылке. Следовательно, сделанное нами допущение *имеет место A* неверно, значит, *не имеет места A*.

Таким образом, весьма актуальным оказывается вопрос о критерии отнесения тех или иных схем рассуждений к базовым и элементарным. Поскольку на данный момент установление такого критерия логическими средствами не представляется возможным, мы посчитали уместным обратиться к проблеме обоснования мыслительных операций в более широком философско-когнитивном контексте. В качестве примера влиятельных когнитивно-психологических подходов, описывающих процессы мышления, мы рассмотрим концептуально близкие теории дуального процесса (Wason, Evans, 1974) и двух систем (Канеман, 2013), которые выстраиваются на общей предпосылке, рассматривающей мышление как двусторонний процесс, или как две системы, одна из которых характеризуется как автоматическая и пассивная, другая — как произвольная и

ориентированная на правило, или норму мышления. При этом одни авторы этих подходов рассматривают различные типы (или системы) мыслительных процессов, как параллельные, другие — как последовательно реализующиеся. Существует также гибридная модель (Vago, Neys, 2017).

Сама идея многоуровневости, многослойности мышления имеет философско-психологическую историю. Мы обнаруживаем ее в контексте исследований У. Джеймса и З. Фрейда, в феноменологии Э. Гуссерля и М. Мерло-Понти. Известно, что У. Джеймс рассматривал рассуждение как двухаспектный мыслительный опыт, который реализуется и как неосознанный и ассоциативный, и как аналитический и осознаваемый. Примечательно, что оба этих типа “мышления”, с точки зрения У. Джеймса, могут вести к одному и тому же результату (Джеймс, 1902), что подтверждают исследования (Vago, Neys, 2017). З. Фрейд также рассматривал мышление с двух сторон: как первичную систему, которую характеризовал как бессознательную и ассоциативную, и как вторичную — сознательную и рациональную (Brakel, Shevrin, 2003).

Точка зрения на мышление как многоуровневый процесс, в котором вербальные акты означивания надстраиваются над невербальными и фундаментальными, представлена в когнитивно обусловленной семантике основателем феноменологии Э. Гуссерлем в “Логических исследованиях” (Гуссерль, 2011). В последующих работах (Husserl, 1966; 1973) Гуссерль развивал идею о том, что вербализованная конституирующая работа сознания должна быть дополнена смыслоформированием более низкого уровня, пассивным синтезом объектов, реализуемым через “действующую интенциональность” нерелексирующего Я. У позднего Гуссерля речь фактически идет о пассивном или потенциальном сознании, которое реализует все конститутивные возможности Я, в том числе и логические.

Его последователь М. Мерло-Понти, пытаясь описать опыт, который предшествует сознанию, развивает гуссерлианское понятие пассивного синтеза как более примитивного, базового смыслоформирования, характерного для “потенциального” сознания (Мерло-Понти и др., 1999). Он говорит о мышлении в двух аспектах: как пассивном и произвольном процессе, и как активном и управляемом. Для нашего исследования важна идея, имплицитно содержащаяся в рассуждениях феноменолога: явленное нам мышление ангажировано неким изначальным, трансцендентным процессом, реализующим объективные когнитивные диспозиции. “Пассивное”, спонтанное мышление и рациональное управляемое мышление у Мерло-Понти оказываются разными типами мышления, которые реализуют различные

конститутивные возможности нашего Я, обеспечивая, по-видимому, решение разного вида познавательных задач.

Идея рассматривать мыслительный процесс как двусторонний, различая два типа мышления, оказалась чрезвычайно востребованной в современной когнитивной науке. В работах (Канеман, 2013; Kahneman, 1973, 2003; Tversky, Kahneman, 1974) в теории дуального процесса исследователи различали два типа рассуждений: обыденные, интуитивные, опирающиеся на разного рода когнитивные эвристики, и рациональные, управляемые. Вторые могут осуществлять мониторинг интуитивных “рассуждений”, в результате которого они одобряются или пересматриваются. Примерно в то же время Уэйсон и Эванс (Wason, Evans, 1974), развивая схожие идеи, буквально используют название “dual process theory. Они предположили, что функция эвристических процессов состоит в выборе представлений, относящихся к определенной предметной области, функция же сознательного “явного” мышления заключается в оперировании этими представлениями, формировании суждений и осуществлении выводов.

Позднее Канеман развивает подход в терминах “двух систем” (Kahneman, 2003). Согласно теории двух систем, мышление осуществляется двумя способами, и соответственно, мы можем говорить о двух когнитивных системах. Система 1 представляет собой автоматические мыслительные процессы, совершаемые быстро и зачастую неосознанно. Она существенно прагматична, опирается на индивидуальный опыт и не требует особых затрат энергии и ресурсов. Система 2 характеризуется прежде всего осознанностью и управляемостью. Она требует внимания для осуществления контроля за действиями (например, сложными вычислениями), и, соответственно, требует дополнительного времени. Ядром Системы 1, с точки зрения Канемана, является ассоциативная память, в каждый момент времени создающая интерпретацию происходящего. Именно эта система ответственна за интуитивное мышление и использование когнитивных нерациональных эвристик, являясь бессознательным источником наших впечатлений, побуждающих уже затем к сознательной работе Систему 2. Будучи автоматической, Система 1 в то же время может создавать не только простые, но и очень сложные конструкты идей, которые, однако, могут воплотиться и сформироваться в законченную мысль только благодаря Системе 2. Система 1 в целом включает в себя как врожденные навыки, так и приобретенные и автоматизированные навыки и знания, например, понимание простых предложений родного языка. Многие ситуации, в которых мы решаем разного рода познавательные задачи, активируют сначала “быструю” Систему 1, которая уже влечет за собой активацию “медлен-

ной” Системы 2. Система 2 как управляемое мышление всегда требует внимания, ее возможности ограничены ресурсами рабочей памяти.

Между системами происходит постоянное взаимодействие, в котором порожаемое и предлагаемое когнитивное содержание Системы 1 (ощущения, идеи, намерения) принимается или не принимается “во внимание” Системой 2, одобряется ей или отклоняется. В связи с этим системы могут вступать в конфликт, когда, например, информация, полученная Системой 1, не соответствует имеющимся знаниям Системы 2. Конфликтная межсистемная ситуация может провоцировать активизацию работы Системы 2. На протяжении всего времени Система 1 работает непрерывно, ее нельзя отключить, в то время как Система 2 выполняет функцию контроля поведения, ее работа не постоянна (Канеман, 2013).

Необходимо отметить, что в теории Д. Канемана системы не имеют конкретной мозговой локализации, являясь лишь удобным способом для описания работы двух различных типов мышления. Сломан (Sloman, 1996), также развивающий концепцию двух систем, замечает такую особенность Системы 1, как настройку на кодирование и обработку статистических закономерностей в окружающей среде. Система 2, с его точки зрения, настроена на выполнение правил. Он описывает отношения между системами как интерактивные. Степень их участия в решении той или иной проблемы будет отличаться у разных людей в зависимости от знаний и индивидуального опыта рассуждающего.

На зависимость в способах рассуждения от индивидуального опыта, исходных знаний и когнитивных способностей указывают также Станович и Вест в своей теории двух систем (Stanovich, West, 2000). Они рассматривают различные познавательные ситуации, в частности те, в которых доминирует Система 1, характеризующаяся тенденцией автоматически контекстуализировать проблемы. Последнее характеризует попытку решить задачу, опираясь не на ее логические характеристики, а на основании опыта применительно к реальной конкретной ситуации.

Другой теорией, постулирующей наличие двух систем обработки информации, является теория двойного кодирования, выдвинутая А. Пайвио в начале 70-х годов прошлого века (Paivio, 1990). Теория выстраивается насылке существования двух когнитивных систем кодирования информации: вербальной и невербальной (образной). Вербальная система работает на основе языка, а невербальная — образов, репрезентирующих объекты и ситуации в мире.

Несмотря на существования приведенных выше теорий, важно отметить, что имеется небольшое количество эмпирических парадигм, кото-

рые бы могли позволить помочь организовать детальное экспериментальное исследование мыслительных процессов. Одной из них можно считать парадигму изучения естественных рассуждений. При этом принято использовать классические поведенческие показатели — время реакции и количество правильных ответов. Примером конкретной эмпирической реализации данной парадигмы является решение испытуемыми, так называемой “Задачи Уэйсона” (Wason selection task) (Evans, 2016). Данная задача заключается в совершении умозаключения, результатом которого будет выбор одной или более карточек из четырех предложенных. В традиционной версии задачи участникам предъявляется условное высказывание вида “Если p , то q ” и показываюются четыре карточки, связанные с условиями истинности этого высказывания. Например, если на одной стороне карты есть K , то на другой стороне есть 3. Видимые стороны карт при этом показывают “ K ”, “ B ”, “3” и “7”, которые соответствуют логическим формам p , не- p , q и не- q соответственно. Участники получают информацию о том, что каждая карта имеет букву на одной стороне и номер на другой стороне, и им необходимо решить, сколько и каких карт необходимо перевернуть, чтобы определить, является ли данное высказывание истинным. Логически обоснованным выбором для проверки данного высказывания будут карточки K и 7 (p и не- q), но большинство участников вместо этого выбирают только K (p), или же K и 3 (p и q). Сам П. Уэйсон объясняет такой способ отбора тем, что он отражает так называемое “искажение верификации” “verification bias” (Wason, Johnson-Laird, 1972), при котором люди пытаются проверить истинность высказывания, находя карту с прямо (K) или косвенно (3) подтверждающей условие комбинацией, а не стремятся выявить потенциальную его опровержимость, т.е. фальсифицировать высказывание. Согласно принятой в классической логике трактовке условного высказывания, оно ложно только в том случае, когда его первая часть (антецедент) является истинной, а вторая (консеквент) ложной. Соответственно, стратегия верификации этого высказывания предполагает выбор карты, соответствующей истинности антецедента (чтобы убедиться, что консеквент истинен), и карты, соответствующей ложности консеквента (чтобы проверить, не окажется ли антецедент в этом случае истинным).

Применение в исследованиях подобных задач и зависимых поведенческих переменных позволяет делать выводы о результатах рассуждений, однако не вскрывает внутреннюю динамику самих психических процессов. Для решения данной задачи большими перспективами обладает использование технологии регистрации движений глаз (Espino, 2005; Ball, 2013; Dong, 2013). На

сегодняшний день в многочисленных когнитивных исследованиях убедительно показано, что технологии айтрекинга позволяют отслеживать внутреннюю структуру того или иного когнитивного процесса, показывая, как разворачивается определенная деятельность во времени. Классическим примером эффективного использования технологий регистрации движений глаз является анализ глазодвигательного поведения во время осмотра зрительных сцен (Ярбус, 1965), процессов чтения текстов (Rayner, 1998), восприятия лиц и лицевых экспрессий (Барабанщиков, 2009; Wagner et al., 2013).

В отношении изучения естественных рассуждений на данный момент также существует достаточно ограниченное количество экспериментальных работ, в которых применялся бы айтрекинг (Bruckmaier et al., 2019, Guerra-Carrillo, Bunge, 2018). Например, технология регистрации движений глаз была применена в изучении мыслительных процессов при выполнении упоминавшейся выше «Задачи Уэйсона». Было показано, что, несмотря на то, что просмотр подходящих карт испытуемыми осуществляется так же долго, как и других карт, но выбираются эти карты затем гораздо реже (Evans et al., 2010). Авторы пришли к выводу, что, так как люди рассматривают подходящие карты, но затем не выбирают их (ибо не могут найти достаточное обоснование для их выбора), то у них доминирует аналитическая стратегия принятия решения, при которой все стимулы обрабатываются одинаково и последовательно, а эвристики при этом используются только на предварительном этапе. Этот результат позволил выдвинуть предположение, что аналитическая обработка информации при естественных рассуждениях приводит к использованию разумных обоснований для поддержания или изменения интуитивных решений.

Еще одной областью исследований, использующих айтрекинг при изучении процессов рассуждения, является анализ показателей движений глаз, непосредственно связанных с пониманием участниками визуально представленных высказываний с различными логическими союзами и связками. Стюарт и соавт. (Stewart et al., 2013) использовали регистрацию движений глаз для изучения процесса чтения испытуемыми утверждения «если ... то», используемые для передачи условных речевых актов, таких как советы и обещания. Условные обещания требуют, чтобы говорящий имел контроль над исполнением обещанного события, а для советов такое условие не обязательно. Анализ глазодвигательных параметров показал, что при чтении условных обещаний в таком контексте, где говорящий не имел должного контроля над ситуацией, происходило нарушение процессов обработки информации (количество фиксаций увеличивалось, росло число

возвратов), в то время как условные советы обрабатываются одинаково легко в независимости от контекста. Авторы сделали вывод, что испытуемые быстро используют прагматическую информацию, связанную с воспринимаемым контролем над результатами рассуждения, чтобы сразу же создавать мысленную репрезентацию того условного речевого акта, о котором они в данный момент читают.

Айтрекинг был использован также для изучения особого вида умозаключения дедуктивной логики – дизъюнктивного силлогизма, который применялся в качестве стратегии обучения словам детей и взрослых (Cesana-Arlotti et al., 2018, Halberda, 2006). В исследовании Хальберда взрослым и дошкольникам предъявлялись изображения знакомого и незнакомого ранее объекта. Участники должны были найти подходящее название для каждого из объектов. Если предъявляемое слово было неизвестным, то участники обычно дольше смотрели на известный объект. Хальберда предположил, что данный паттерн направления взгляда был результатом того, что они изначально стараются отвергнуть известный им объект для незнакомого названия, и что этот процесс позволяет участникам сопоставлять новые названия с новыми объектами. По предположению автора, описанный процесс соответствует применению дизъюнктивного силлогизма, т.е. МТП (Modus Tollendo Ponens: А или В, не А, значит В), который соответствует процессу исключения лишнего.

При исследовании влияния убеждений на проверку категорических силлогизмов было выяснено, что глазодвигательные параметры изменяются в зависимости от таких характеристик, как достоверность и правдоподобность предъявляемых заключений: время фиксации на неправдоподобных заключениях было меньше, т.е. люди склонны выбирать более правдоподобное и вероятное с их точки зрения заключение (фиксироваться на нем дольше), а не наиболее логичное (Ball et al., 2006). В том же исследовании данные о времени фиксации на посылках были внесены в три варианта ментальных моделей для прогнозирования и сравнения с полученными в эксперименте результатами. Итоговые данные подтверждают теорию «избирательной обработки» («selective processing») убеждений, согласно которой правдоподобность заключения оказывает влияние скорее на процесс построения модели (которая строится всего одна), чем на поиск фальсифицирующей модели (согласно теории ментальных моделей Джонсона-Лэйрда, где строится множество моделей) или на итоговую стадию (response stage) рассуждения, вытекающего из субъективной неопределенности (Quayle, Ball, 2000, Stupple et al., 2011).

Также в одном из последних исследований (Mata et al., 2017) была сделана попытка оценить степень взаимосвязанности направленного внимания с эффективностью процесса рассуждений. Для оценки параметров внимания были использованы параметры фиксации — их локализация в предложении и длительность. Было обнаружено, что испытуемые, которые оценивают силлогизм правильно, направляют больший объем внимания на предпосылки, чем те, кто допускают ошибки. Данный результат стал подтверждением эвристико-аналитической теории рассуждений (Evans, 2006).

Следует отметить, что описанные выше исследования выполнены с опорой на различные теоретические позиции, в них далеко не всегда учитываются достижения современной логики, нередко отсутствует согласование результатов с другими исследованиями. Все это еще раз подтверждает актуальность предпринимаемого в данной работе эмпирического изучения процессов протекания естественных рассуждений на основе анализа глазодвигательной активности. В связи с проведенным теоретическим анализом мы выдвигаем гипотезу о том, что регистрируемые в процессе проверки умозаключений поведенческие параметры и параметры движения глаз позволяют дифференцировать различные типы рассуждений и, в частности, выявить те их типы, которые предположительно являются встроенными и автоматическими.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

В исследовании приняли участие 15 испытуемых в возрасте от 18 до 24 лет с нормальным или скорректированным до нормального зрением.

В качестве стимулов были использованы трехчленные условно-категорические и разделительно-категорические умозаключения (три строки-предложения), сформулированные на русском языке и выровненные по количеству слов в каждом стимуле, табл. 1.

Один и тот же лингвистический союз в русском языке в разных предложениях может иметь различный смысл. Так, многозначный естественно-языковой союз “или” может выражать строго разделительный смысл, выступать синонимом союза “либо”, или нестрого разделительный смысл, который может быть выражен конструкцией “по крайней мере один из”. Учитывая вышесказанное, далее в тексте мы будем использовать лингвистический союз “или” при описании разделительно-категорических умозаключений без специальных оговорок, если наличие двух ситуаций в составе сложного высказывания с главным союзом “или” возможно, например, “Иван старше Марьи или Дарьи”. В противном случае,

когда сосуществование двух ситуаций невозможно, например, как это представлено в предложении “Я останусь дома или пойду в театр”, мы будем указывать, что союз “или” трактуется как строгая дизъюнкция, отмечая это в тексте как “или (= “искл. или”)

В обозначениях: “*p*” — правильный вариант, “*n*” — неправильный вариант, “*s*” — строгая дизъюнкция.

Таким образом, всего было предъявлено 80 стимулов в квазислучайном порядке и один стимул в тренировочной части эксперимента. Пример предъявления стимула представлен на рис. 1 (голубым цветом обозначен пример траектории движения взгляда испытуемого).

Стимулы предъявляли на экране монитора — каждое умозаключение на неограниченное время. После предъявления каждого стимула испытуемые сначала нажимали на клавишу “пробел” для перехода к ответу (т.е. происходила регистрация времени принятия решения), а затем отвечали на вопрос при помощи компьютерной мыши — было ли умозаключение верным или нет. После этого на экране автоматически появлялся фиксационный крест, а затем производился переход к следующему стимулу. Первый стимул всегда был тренировочным, о чем испытуемому сообщалось в начале эксперимента, и не учитывался при обработке результатов.

Регистрацию движений глаз проводили монокулярно посредством айтрекера SMI Hi-Speed с частотой 1250 Гц и точностью <0.1 угл. град. Предъявление стимуляции осуществляли с использованием программы Experiment Center 3.6, обработку данных регистрации движений глаз при помощи программы BeGaze 3.6. Стимуляцию предъявляли на жидкокристаллическом мониторе с диагональю экрана 23 дюйма.

Анализировали следующие параметры: время ответа испытуемого, правильность ответа, количество фиксаций, средняя длительность фиксаций, количество саккад, средняя амплитуда саккад, средняя скорость саккад, количество морганий, средняя длительность морганий, а также общая длина пути.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Усредненные результаты для каждого вида умозаключений, нормированные на длину стимулов, представлены в табл. 2.

По всем испытуемым отдельно для каждого из регистрируемых параметров рассматривались различия между тремя отличающимися вариантами одного и того же модуса: правильный и неправильный варианты для МР и МТ; варианты со строгой и нестрогой дизъюнкцией для МТР; правильный вариант со строгой дизъюнкцией и не-

Таблица 1. Стимульный материал

Название	Параметры	Правильный вариант	Неправильный вариант
Modus Ponens [MP]	Обозначение	MP _p	MP _n (утверждение консеквента)
	Логическая форма	Если А, то В А Значит, В	Если А, то В В Значит, А
	Пример	Если человек устает, то ему хочется отдохнуть. Человек устал. Значит, он хочет отдохнуть.	Если укусил комар то, место укуса чешется. Место укуса чешется. Значит, укусил комар.
	Количество стимулов	10	10
Modus Tollens [MT]	Обозначение	MT _p	MT _n (отрицание антецедента)
	Логическая форма	Если А, то В Не В Значит, не А	Если А, то В Не А Значит, не В
	Пример	Если небо чистое, то видны звезды. Звезд не видно. Значит, небо не чистое.	Если рыба клюет, то поплавок дергается. Рыба не клюет. Значит, поплавок не дергается.
	Количество стимулов	10	10
Modus Ponendo Tollens с <u>исключающим</u> и <u>неисключающим</u> “или” [MPT]	Обозначение	MPT _{sp}	MPT _n
	Логическая форма	А или (= “искл. или”) В А Значит, не В	А или В А Значит, не В
	Пример	Это хорошая репродукция или это оригинал. Это хорошая репродукция. Значит, это не оригинал.	Иван занимался шахматами или шашками. Он занимался шашками. Значит, он не занимался шахматами.
	Количество стимулов	10	10
Modus Tollendo Ponens с <u>неисключающим</u> “или” [MTP]	Обозначение	MTP _p	–
	Логическая форма	А или В Не А Значит, В	–
	Пример	Я сдал физику или химию. Я не сдал физику. Значит, я сдал химию.	–
	Количество стимулов	10	–
Modus Tollendo Ponens с <u>исключающим</u> “или” [MTP]	Обозначение	MTP _{sp}	–
	Логическая форма	А или (= “искл. или”) В Не А Значит, В	–
	Пример	Иван пойдет гулять или останется дома. Его нет дома. Значит, он пошел гулять.	–
	Количество стимулов	10	–

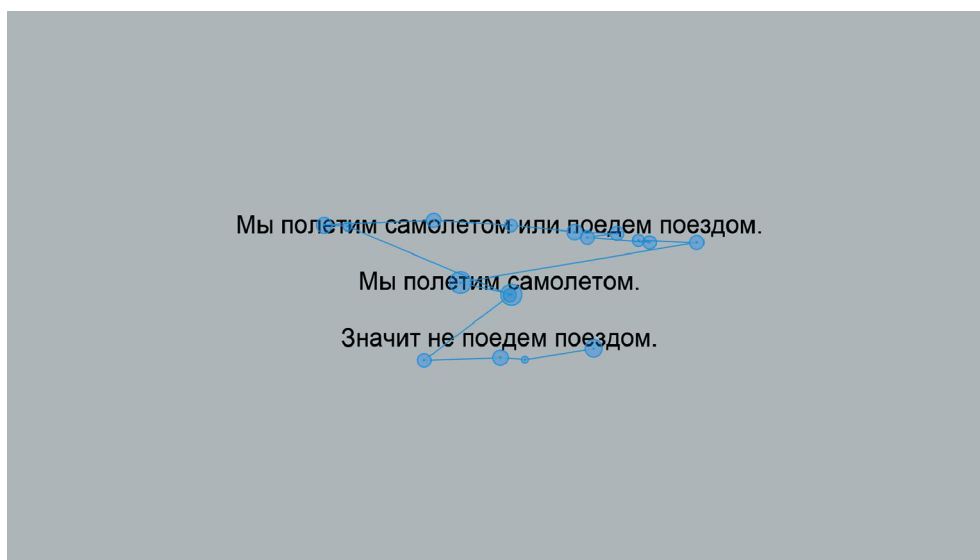


Рис. 1. Пример предъявленного стимула с наложенным впоследствии примером траектории движения взгляда испытуемого.

правильный вариант с нестрогой дизъюнкцией для МРТ. Также оценивались различия между правильными вариантами разных модусов и различия между неправильными вариантами разных модусов. Различия оценивались при помощи непараметрического критерия Вилкоксона. В случаях сравнений вариантов различных модусов друг с другом использовалась поправка на множественные сравнения Бонферрони.

Несмотря на то что каждый стимул состоял из одинакового количества слов (13), в силу различной длины слов общая длина стимулов также различалась. Данное различие могло оказывать влияние на время прочтения стимула (а следовательно, и время решения), количество и длительность фиксаций, количество саккад и общую длину пути. Для исключения влияния данного фактора полученные для каждого стимула величины были поделены на физический размер стимула в пикселях (суммарная длина трех предъявляемых строк). Величина, полученная после деления, может измеряться в единицах изначального параметра на пиксели или же в условных единицах (у.е.).

При сравнении различных вариантов умозаключений по регистрируемым параметрам были получены следующие результаты ($p < 0.05$):

I. Между двумя вариантами одного типа умозаключения

1. Modus Ponens [MP]. Статистически значимых различий между правильным (MP_p) и неправильным (MP_n) вариантами не было получено ни по одному из регистрируемых параметров.

2. Modus Tollens [MT]. Статистически значимых различий между правильным (MT_p) и не-

правильным (MT_n) вариантами не было получено ни по одному из регистрируемых параметров.

3. Modus Ponendo Tollens [MPT]. Статистически значимые различия между правильным вариантом со строгой дизъюнкцией [MPT_{sp}] и неправильным вариантом с нестрогой дизъюнкцией [MPT_n] были получены по параметрам среднего времени решения, среднего количества фиксаций, средней длительности фиксаций, среднего количества саккад и средней длины пути (все значения больше в MPT_n).

4. Modus Tollendo Ponens [MTP]. Статистически значимые различия между вариантом с нестрогой дизъюнкцией [MTP_p] и со строгой дизъюнкцией [MTP_{sp}] были получены по параметрам средней длительности фиксаций ($MTP_{sp} < MTP_p$), средней скорости саккад ($MTP_{sp} < MTP_p$) и средней длины пути ($MTP_{sp} < MTP_p$).

II. Между правильными вариантами умозаключений статистически значимые различия были получены для:

1. $MP_p < MT_p$: по длительности фиксаций.
2. $MP_p < MPT_{sp}$: по длительности фиксаций.
3. $MP_p < MTP_p$: по длительности фиксаций.
4. $MP_p < MTP_{sp}$: по длительности фиксаций.

Различия по длительности фиксаций в данных четырех сравнениях приведены на рис. 2.

5. $MT_p > MPT_{sp}$: по времени решения, количеству фиксаций, количеству саккад, длине пути.

Таблица 2. Усредненные результаты для каждого вида умозаключений, нормированные на длину стимулов

Обозначение умозаключения	MP_p	MP_n	MT_p	MT_n	MPT_sp	MPT_n	MTP_p	MTP_sp
Логическая форма умозаключения	Если А, то В А Значит, В	Если А, то В В Значит, А	Если А, то В Не В Значит, не А	Если А, то В Не А Значит, не В	А или (= “искл. или”) В А Значит, не В	А или В А Значит, не В	А или В Не А Значит, В	А или (= “искл. или”) В Не А Значит, В
Среднее время решения, у.е.	6157.1	6809.5	8166.4	8010.5	5570.4	9773.9	6658.2	7427.8
Среднее количество фиксаций, у.е.	23.7	26.2	30.7	30.1	21.2	34.5	25.3	27.4
Средняя длительность фиксаций, у.е.	163.9	173.6	195.7	216.0	186.1	244.8	203.8	181.6
Среднее количество саккад, у.е.	20.7	22.9	25.5	25.8	18.1	28.4	21.9	23.4
Средняя амплитуда саккад, у.е.	5.2	4.3	3.7	4.8	5.2	4.6	4.1	4.1
Средняя скорость саккад, у.е.	112.0	99.3	95.0	110.9	110.2	116.2	101.9	98.3
Средняя длина пути, у.е.	4133.3	4567.9	5052.9	4632.8	3258.9	5398.2	3846.5	4520.0
Процент ответа “Да, умозаключение верно”, %	81.4	74.0	79.3	72.7	82.0	70.7	80.0	76.0

6. $MTP_{sp} > MPT_{sp}$: по времени решения, количеству фиксаций, количеству саккад и длине пути.

III. Между неправильными вариантами умозаключений статистически значимые различия были получены для:

1. $MP_n < MT_n$: по времени решения и длительности фиксаций.

2. $MP_n < MPT_n$: по времени решения, количеству фиксаций, длительности фиксаций и количеству саккад.

3. $MT_n < MPT_n$: по времени решения.

Различия по времени решения в различных типах умозаключений приведены на рис. 3.

IV. Ответы испытуемых

Статистический анализ не показал статистически значимых ($p < 0,05$) различий при сравнении ответов испытуемых на правильные и неправильные варианты разных умозаключений (рис. 4). Рассматривая процент ответов “Да, умо-

заключение верно” (синий столбик) и “Нет, умозаключение неверно” (красный столбик) для каждого типа умозаключения, видно, что испытуемые давали в большинстве случаев (около 75%) ответ “Да, умозаключение верно” как при предъявлении правильных вариантов умозаключений (MP_p , MT_p и MPT_{sp}), так и при предъявлении неправильных (MP_n , MT_n и MPT_n).

ОБСУЖДЕНИЕ

Основываясь на полученных результатах, можно сделать заключение о том, что выдвинутая экспериментальная гипотеза подтвердилась: действительно, при проверке различных вариантов одних и тех же умозаключений и разных видов умозаключений наблюдаются статистически значимые различия по времени решения и отдельным глазодвигательным параметрам. Полученные в настоящем исследовании данные соответствуют данным других исследований о большей сложности проверки (количество времени и про-

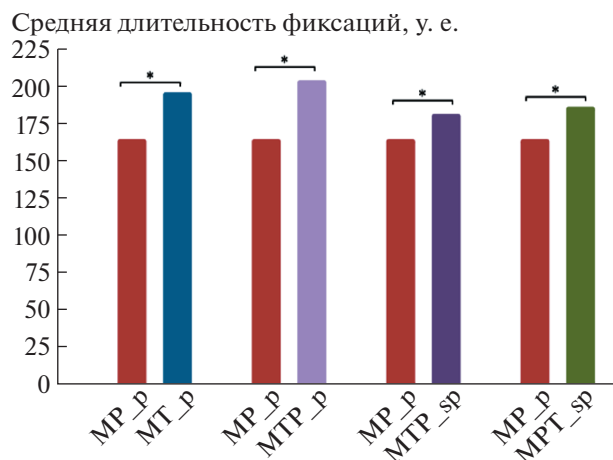


Рис. 2. Средняя длительность фиксаций, нормированная на длину стимула, у.е. (* – значимость отличий $p < 0.05$).

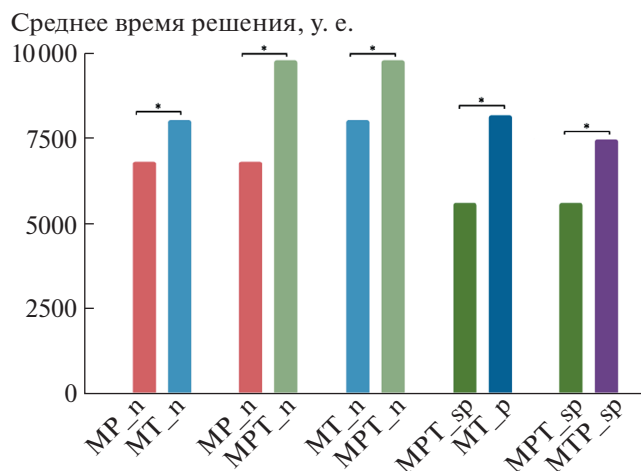


Рис. 3. Среднее время решения, нормированное на длину стимула, в различных типах умозаключений.

цент правильных решений) Modus Tollens по сравнению с Modus Ponens (Dong, 2013).

Отсутствие статистически значимых различий между правильным и неправильным вариантами внутри модусов MP (между MP_p и MP_n) и MT (между MT_p и MT_n) по всем регистрировавшимся параметрам говорит, на наш взгляд, о схожем способе обработки информации при решении задачи проверки данных умозаключений на корректно, т.е. как на уровне ответов, так и на поведенческом и глазодвигательном уровнях испытуемые в данных видах умозаключений не распознают неправильные, с точки зрения формальной логики, утверждения, что в очередной раз подтверждает различие между формальной логикой и естественными рассуждениями, и требует дальнейшего изучения.

Важным обнаруженным фактом является дифференция процессов проверки умозаключений модусов по длительности фиксаций (MP_p отличается от всех остальных правильных вариантов по длительности фиксаций, MP_n отличается от всех неправильных, также есть различия внутри MPT и MTR). Известно, что длительность фиксаций зависит от действия двух факторов – особенностей когнитивной обработки поступающей зрительной информации и программирования последующего саккадического движения (Moffitt, 1980). В ходе чтения текста процесс формирования следующей саккады является автоматизированным, поэтому на длительность фиксации в большей степени влияет именно фактор обработки поступившей информации, а также выполняемой задачи.

Факт, что умозаключения, содержащие отрицания, обрабатываются дольше, чем умозаключения без отрицания, является часто встречающимся

ся в подобных исследованиях (Schroyens et al., 2001). Это подтверждается в данном исследовании полученным результатом об увеличенной по сравнению с MP длительности фиксации для MT (и для правильных, и для неправильных вариантов данных умозаключений). Полученный результат может быть проинтерпретирован в терминах гипотезы эффекта двойного отрицания (double-negation effect). Согласно этой гипотезе, процедура исключения двойного отрицания (т.е. переход от отрицательного высказывания вида *неверно, что неверно, что А* к утвердительному высказыванию формы *имеет место А*), которую приходится осуществлять для получения заключения, делает этот процесс менее однозначным. Наиболее простое объяснение состоит в том, что



Рис. 4. Распределение ответов испытуемых в модусах MP, MT и MPT по видам стимулов, %.

человеку сложно в процессе такого рассуждения утверждать нечто как имеющее место на основании промежуточного вывода о том, что допущение об отсутствии в действительности некоторого факта на самом деле не имеет места (Evans et al., 1995).

Проблема обработки негативных высказываний в составе рассуждений заслуживает более подробного обсуждения. Рассмотренная выше попытка объяснения эффекта двойного отрицания Эвансом и соавт. (Evans et al., 1995) не кажется нам полностью убедительной. Действительно, в когнитивно-психологическом контексте переход от отрицательного высказывания к утвердительному представляется сложно осуществимым. Однако не следует забывать, что основания отрицательного суждения существенно отличаются от оснований утвердительного. Если для подтверждения утвердительного высказывания мы обращаемся к непосредственному восприятию реальности, бытия, то, следуя той же схеме рассуждений, обоснование негативного высказывания потребовало бы восприятия небытия. Большинство философов и специалистов в теории познания считают последнее невозможным.

Предположение о влиянии негации на сложность обработки и принятия решения при проверке умозаключения также соответствует концепции ментальных моделей: построение моделей несуществования чего-либо по сравнению с представлением конкретного предмета/явления оказывается намного более трудной задачей.

Аналогичный вывод о роли отрицания можно сделать в связи с наличием статистически значимых различий по нескольким параметрам (время решения, количество фиксации и саккад, длина пути) между МРТ_{сп} и МТ_р и между МРТ_{сп} и МТР_{сп}, где значения всех параметров было меньше в МРТ_{сп}. Как МТ_р, так и МТР_{сп} содержат отрицание во второй посылке, которое, как мы предположили, замедляет когнитивную обработку, в то время как в МРТ_{сп} обе посылки утвердительные и отрицательным является только заключение.

Интересная трактовка негативных высказываний формируется в связи с близкой к феноменологическому подходу теорией воплощенного познания и результатами когнитивно-психологических исследований, выполненных в этой парадигме. В качестве показательного примера можно назвать работы Р. Зваана и соавт. (Kaup et al., 2005; Zwaan, 2012), в которых выдвигается так называемая “гипотеза двухэтапной симуляции отрицания” (two-step simulation hypothesis of negation). В теории воплощенного познания отрицание интерпретируется через различие ментальных симуляций имеющего место и ожидаемого положения дел. Идею двухэтапной симуляции хорошо иллюстрирует

приводимый Р. Званом пример. При обработке вне контекста предложения “Дирижера в концертном зале не было” (The conductor was not present in the concert hall) воспринимающий его когнитивный агент должен на первом этапе симулировать восприятие концертного холла с дирижером, а затем осуществить симуляцию концертного холла без дирижера (Zwaan, 2012). Справедливости ради следует заметить, что в ряде работ, на основании проведенных исследований, предлагается интерпретация результатов, не в полной мере соответствующая гипотезе двухэтапной симуляции (Ogenes et al., 2014).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы исследований

Полученные результаты не только подтверждают наличие существенных отличий в когнитивной обработке рассуждений по разным логическим схемам, но и служат основой для гипотезы о статусе рассуждений по схеме МР. Эти рассуждения обрабатываются сравнительно быстро, а их проверка выполняется статистически значимо правильнее, чем рассуждения по другим исследованным схемам. Все это позволяет предположить, что именно эта схема рассуждений может быть рассмотрена как базовая “встроенная” схема умозаключения. Возможно, таким же статусом будет обладать и схема чисто условного рассуждения (Если А, то В. Если В, то С. Следовательно, если А, то С), в основе которой лежит свойство транзитивности. В пользу такого предположения свидетельствует целый ряд исследований (Lee, Kwon, 2013; Hotta et al., 2020; Lazareva et al., 2015). Одним из значимых преимуществ в когнитивной обработке умозаключений по схеме МР выступает отсутствие отрицаний в посылках и заключение этого умозаключения.

В ходе исследования мы вполне ожидаемо столкнулись с проблемой восприятия отрицательных высказываний в составе анализируемых рассуждений. Следует отметить, что понимание негативных высказываний представляет тему, интересную саму по себе и вполне заслуживающую отдельного исследования.

Таким образом, в проведенном исследовании было показано, что при помощи технологии айтрекинга можно дифференцировать различные типы умозаключений. Наше исследование открывает дальнейшие перспективы уточнения как психологических, так и психофизиологических механизмов, лежащих за этими феноменами.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-011-00293).

УЧАСТИЕ АВТОРОВ

Все авторы в равной степени участвовали в проведении исследования и написании статьи.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабаншиков В.А. *Восприятие выражений лица*. М.: Институт психологии РАН, 2009. 448 с.
- Гуссерль Э. *Логические исследования*. Т. 2. Ч. 1: Исследования по феноменологии и теории познания. М.: Академический Проект, 2011. 565 с.
- Джеймс У. *Научные основы психологии*. СПб: Санкт-Петербургская электропечатня, 1902. 373 с.
- Канеман Д. *Думай медленно... решай быстро*. М.: АСТ, 2013. 656 с.
- Мерло-Понти М. *Феноменология восприятия*. М.: Наука, 1999. 608 с.
- Ярбус А.Л. *Роль движений глаз в процессе зрения*. М.: Наука, 1965. 166 с.
- Aguilera M. Why the content of animal thought cannot be propositional. *Analisis Filosofico*. 2018. V. 38 (2). P. 183–207.
<https://doi.org/10.36446/af.2018.303>
- Bago V., De Neys W. Fast logic?: Examining the time course assumption of dual process theory. *Cognition*. 2017. V. 158. P. 90–109.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.10.014>
- Ball L.J., Phillips P., Wade C.N., Quayle J.D. Effects of belief and logic on syllogistic reasoning: Eye-movement evidence for selective processing models. *Experimental Psychology*. 2006. V. 53 (1). P. 77–86.
<https://doi.org/10.1027/1618-3169.53.1.77>
- Ball L.J. *Eye-tracking and reasoning*. New approaches in reasoning research. 2013. P. 51–59.
- Bermúdez J.L. Animal reasoning and proto-logic. *Rational animals*. 2006. P. 127–138.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528272.003.0005>
- Brakel L.A.W., Shevrin H. Freud's dual process theory and the place of the a-rational. *Behavioral and Brain Sciences*. 2003. V. 26 (4). P. 527.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X03210116>
- Bruckmaier G., Binder K., Krauss S., Kufner H.M. An eye-tracking study of statistical reasoning with tree diagrams and 2 × 2 tables. *Frontiers in psychology*. 2019. V. 10. P. 632–638.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00632>
- Burge T. *Origins of objectivity*. Oxford University Press. 2010. 624 p.
- Cesana-Arlotti N., Martín A., Téglás E., Vorobyova L., Cetnarski R., Bonatti L. L. Precursors of logical reasoning in preverbal human infants. *Science*. 2018. V. 359 (6381). P. 1263–1266.
<https://doi.org/10.1126/science.aao3539>
- Dong O. Cognitive Basis of Conditional Reasoning: Insight Through Eye Movements. 2013.
<https://doi.org/10.14418/wes01.1.937>
- Espino O., Santamaría C., Meseguer E., Carreiras M. Early and late processes in syllogistic reasoning: Evidence from eye-movements. *Cognition*. 2005. V. 98 (1). P. B1–B9.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.12.010>
- Eva B., Hartmann S., Singmann H.A. A New Probabilistic Explanation of the Modus Ponens-Modus Tollens Asymmetry. *CogSci*. 2019. P. 289–294.
- Evans J.S.B.T. The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2006. V. 13 (3). P. 378–395.
<https://doi.org/10.3758/bf03193858>
- Evans J.S.B.T. A brief history of the Wason selection task. *The Thinking Mind*. *Psychology Press*. 2016. P. 15–28.
- Evans J.S.B.T., Ball L.J. Do people reason on the Wason selection task? A new look at the data of Ball et al. (2003). *Quarterly J. Exp. Psychol.* 2010. V. 63 (3). P. 434–441.
<https://doi.org/10.1080/17470210903398147>
- Evans J.S.B.T., Clibbens J., Rood B. Bias in conditional inference: Implications for mental models and mental logic. *Quarterly J. Exp. Psychol.* 1995. V. 48 (3). P. 644–670.
<https://doi.org/10.1080/14640749508401409>
- Evans J.S.B.T., Thompson V.A., Over D.E. Uncertain deduction and conditional reasoning. *Frontiers in Psychology*. 2015. V. 6. P. 398–405.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00398>
- Guerra-Carrillo B.C., Bunge S.A. Eye gaze patterns reveal how reasoning skills improve with experience. *NPJ science of learning*. 2018. V. 3 (1). P. 1–9.
<https://doi.org/10.1038/s41539-018-0035-8>
- Halberda J. Is this a dax which I see before me? Use of the logical argument disjunctive syllogism supports word-learning in children and adults. *Cognitive psychology*. 2006. V. 53 (4). P. 310–344.
<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2006.04.003>
- Hotta T., Ueno K., Hataji Y., Kuroshima H., Fujita K., Kohda M. Transitive inference in cleaner wrasses (*Labroides dimidiatus*). *PloS one*. 2020. V. 15 (8). P. e0237817.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237817>
- Husserl E. *Analysen zur passiven Synthesis*: aus Vorlesungs- und Forschungsmanuskripten. 1966. 532 p.
- Husserl E. *Hua XVI*. Ding und Raum. Vorlesungen, 1907. 1973. 433 p.
- Kahneman D. Attention and effort. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall. 1973. 253 p.
- Kahneman D. A perspective on judgment and choice: mapping bounded rationality. *American psychologist*. 2003. V. 58(9). P. 697–703.
<https://doi.org/10.1037/0003-066x.58.9.697>
- Kaup B., Ludtke J., Zwaan R.A. Effects of negation, truth value, and delay on picture recognition after reading affirmative and negative sentences. *Proc. Annual Meet. Cogn. Sci. Soc.* 2005. V. 27 (27).
- Lazareva O.F., Kandray K., Acerbo M.J. Hippocampal lesion and transitive inference: Dissociation of inference-based and reinforcement-based strategies in pigeons.

- Hippocampus*. 2015. V. 25 (2). P. 219–226.
<https://doi.org/10.1002/hipo.22366>
- Lee Y., Kwon Y. Understanding mechanisms in transitive inferences: an eye-tracking study in Korean reading. Perceptual and motor skills. 2013. V. 117 (3). P. 761–774.
<https://doi.org/10.2466/22.24.pms.117x28z1>
- Mata A., Ferreira M.B., Voss A., Kolle T. Seeing the conflict: an attentional account of reasoning errors. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2017. V. 24 (6). P. 1980–1986.
<https://doi.org/10.3758/s13423-017-1234-7>
- Moffitt K. Evaluation of the fixation duration in visual search. *Percept. Psychophys.* 1980. V. 27 (4). P. 370–372.
<https://doi.org/10.3758/BF03206127>
- Orenes I., Beltrán D., Santamaria C. How negation is understood: Evidence from the visual world paradigm. *J. Memory and Language*. 2014. V. 74. P. 36–45.
<https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.04.001>
- Paivio A. *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford Univ. Press, 1990.
- Quayle J.D., Ball L.J. Working memory, metacognitive uncertainty, and belief bias in syllogistic reasoning. *Quarterly J. Exp. Psychol: Section A*. 2000. V. 53 (4). P. 1202–1223.
<https://doi.org/10.1080/713755945>
- Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin*. 1998. V. 124 (3). P. 372–378.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Schroyens W.J., Schaeken W., d'Ydewalle G. The processing of negations in conditional reasoning: A meta-analytic case study in mental model and/or mental logic theory. *Thinking & reasoning*. 2001. V. 7 (2). P. 121–172.
<https://doi.org/10.1080/13546780042000091>
- Sloman S.A. The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological bulletin*. 1996. V. 119 (1). P. 3–10.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.1.3>
- Stanovich K.E., West R.F. Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and brain sciences*. 2000. V. 23 (5). P. 645–665.
<https://doi.org/10.1017/s0140525x00003435>
- Stewart A., Haigh M., Ferguson H. Sensitivity to speaker control in the online comprehension of conditional tips and promises: an eye tracking study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*. 2013. V. 39 (4). P. 1022–1036.
<https://doi.org/10.1037/a0031513>
- Stuppel E.J.N., Ball L.J., Evans J.S. B., Kamal-Smith E. When logic and belief collide: Individual differences in reasoning times support a selective processing model. *J. Cogn. Psychol.* 2011. V. 23 (8). P. 931–941.
<https://doi.org/10.1080/20445911.2011.589381>
- Tversky A., Kahneman D. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*. 1974. V. 185 (4157). P. 1124–1131.
<https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
- Wagner J.B., Hirsch S.B., Vogel-Farley V.K., Redcay E., Nelson C.A. Eye-Tracking, Autonomic, and Electrophysiological Correlates of Emotional Face Processing in Adolescents with Autism Spectrum Disorder. *J. Autism Dev Disord*. 2013. V. 43 (1). P. 188–199.
<https://doi.org/10.1007/s10803-012-1565-1>
- Wason P.C., Johnson-Laird P.N. *Psychology of reasoning: Structure and content*. Harvard University Press. 1972. V. 86.
- Wason P.C., Evans J.S.B.T. Dual processes in reasoning? *Cognition*. 1974. V. 3 (2). P. 141–154.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(74\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0010-0277(74)90017-1)
- Zwaan R.A. The experiential view of language comprehension: How is negation represented. Higher level language processes in the brain: Inference and comprehension processes. 2012. P. 255–288.

Differentiation of Reasoning Processes Based on Eye Movement Indicators

D. V. Zaitsev^a, A. I. Kovalev^{b,#}, A. A. Kiselnikov^b, N. V. Zaitseva^a, and K. G. Povorova^b

^a *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Philosophy 119991 Moscow, Lomonosovsky prospect, 27, bldg. 4, Russia*

^b *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Psychology 125009 Moscow, Mokhovaya st., 11, bldg. 9, Russia*

[#] *E-mail: artem.kovalev.msu@mail.ru*

The goal of this study was to differentiate the processes of reasoning using behavioral and oculomotor parameters on the example of various types of propositional inferences. Two variants of each type of inference (Modus Ponens, Modus Tollens, Modus Tollendo Ponens, Modus Ponendo Tollens) (correct and incorrect or with different types of disjunction) were used. Eye movements were recorded using the SMI Hi-Speed at a registration frequency of 1250 Hz. Statistically significant differences were found in the indicators of the response time, the number and duration of fixations, the number and speed of saccades, as well as the path length, depending on the types and variants of the solved inferences. The obtained data confirm that using eye tracking technology, it is possible to differentiate various types of inference.

Key words: eye tracking, cognitive procedures, inferences, reasoning, logic

REFERENCES

- Aguilera M. Why the content of animal thought cannot be propositional. *Analisis Filosofico*. 2018. V. 38 (2). P. 183–207.
<https://doi.org/10.36446/af.2018.303>
- Bago B., De Neys W. Fast logic?: Examining the time course assumption of dual process theory. *Cognition*. 2017. V. 158. P. 90–109.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.10.014>
- Ball L.J., Phillips P., Wade C.N., Quayle J.D. Effects of belief and logic on syllogistic reasoning: Eye-movement evidence for selective processing models. *Experimental Psychology*. 2006. V. 53 (1). P. 77–86.
<https://doi.org/10.1027/1618-3169.53.1.77>
- Ball L.J. Eye-tracking and reasoning. *New approaches in reasoning research*. 2013. P. 51–59.
- Barabanshchikov V.A. *Vospriyatie vyrazhenii litsa [Perception of facial expressions]*. Moscow. Institut psikhologii RAN, 2009. 448 p. (in Russian).
- Bermúdez J.L. Animal reasoning and proto-logic. *Rational animals*. 2006. P. 127–138.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528272.003.0005>
- Brakel L.A.W., Shevrin H. Freud's dual process theory and the place of the a-rational. *Behavioral and Brain Sciences*. 2003. V. 26 (4). P. 527–532.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X03210116>
- Bruckmaier G., Binder K., Krauss S., Kufner H.M. An eye-tracking study of statistical reasoning with tree diagrams and 2 × 2 tables. *Frontiers in psychology*. 2019. V. 10. P. 632–638.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00632>
- Burge T. *Origins of objectivity*. Oxford University Press. 2010. 624 p.
- Cesana-Arlotti N., Martín A., Téglás E., Vorobyova L., Cetnarski R., Bonatti L.L. Precursors of logical reasoning in preverbal human infants. *Science*. 2018. V. 359 (6381). P. 1263–1266.
<https://doi.org/10.1126/science.aao3539>
- Dong O. *Cognitive Basis of Conditional Reasoning: Insight Through Eye Movements*. 2013.
<https://doi.org/10.14418/wes01.1.937>
- Espino O., Santamaría C., Meseguer E., Carreiras, M. Early and late processes in syllogistic reasoning: Evidence from eye-movements. *Cognition*. 2005. V. 98 (1). P. B1–B9.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.12.010>
- Eva B., Hartmann S., Singmann H. A New Probabilistic Explanation of the Modus Ponens-Modus Tollens Asymmetry. *CogSci*. 2019. P. 289–294.
- Evans J.S.B.T. The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2006. V. 13 (3). P. 378–395.
<https://doi.org/10.3758/bf03193858>
- Evans J.S.B.T. A brief history of the Wason selection task. *The Thinking Mind*. Psychology Press. 2016. P. 15–28.
- Evans J.S.B.T., Ball L.J. Do people reason on the Wason selection task? A new look at the data of Ball et al. (2003). *Quarterly J. Exp. Psychol.* 2010. V. 63 (3). P. 434–441.
<https://doi.org/10.1080/17470210903398147>
- Evans J.S.B.T., Clibbens J., Rood B. Bias in conditional inference: Implications for mental models and mental logic. *Quarterly J. Exp. Psychol.* 1995. V. 48 (3). P. 644–670.
<https://doi.org/10.1080/14640749508401409>
- Evans J.S.B.T., Thompson V.A., Over D.E. Uncertain deduction and conditional reasoning. *Frontiers in Psychology*. 2015. V. 6. P. 398–405.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00398>
- Guerra-Carrillo B.C., Bunge S.A. Eye gaze patterns reveal how reasoning skills improve with experience. *NPJ science of learning*. 2018. V. 3 (1). P. 1–9.
<https://doi.org/10.1038/s41539-018-0035-8>
- Halberda J. Is this a dax which I see before me? Use of the logical argument disjunctive syllogism supports word-learning in children and adults. *Cognitive psychology*. 2006. V. 53 (4). P. 310–344.
<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2006.04.003>
- Hotta T., Ueno K., Hataji Y., Kuroshima H., Fujita K., Kohda M. Transitive inference in cleaner wrasses (*Labroides dimidiatus*). *PloS one*. 2020. V. 15 (8). P. e0237817.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237817>
- Husserl E. *Logicheskie issledovaniya [Logical investigations]*. V. 2. P. 1. *Issledovaniya po fenomenologii i teorii poznaniya [Research in Phenomenology and Theory of Knowledge]*. Moscow. Akademicheskii Proekt, 2011. 565 p. (in Russian).
- Husserl E. *Analysen zur passiven Synthesis: aus Vorlesungs- und Forschungsmanuskripten*. 1966. 532 p.
- Husserl E. *Hua XVI. Ding und Raum. Vorlesungen*, 1907. 1973. 433 p.
- James W. *Nauchnye osnovy psikhologii [Scientific foundations of psychology]*. St. Petersburg. Sankt-Peterburgskaya elektropechatnya, 2003. 373 p. (in Russian).
- Kahneman D. *Dumai medlenno... reshai bystro [Think Slow ... Decide Fast]*. Moscow. AST, 2014. 656 p. (in Russian).
- Kahneman D. *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1973. 253 p.
- Kahneman D. A perspective on judgment and choice: mapping bounded rationality. *American psychologist*. 2003. V. 58 (9). P. 697–705.
<https://doi.org/10.1037/0003-066x.58.9.697>
- Kaup B., Ludtke J., Zwaan R.A. Effects of negation, truth value, and delay on picture recognition after reading affirmative and negative sentences. *Proc. Annual Meet. Cogn. Sci. Soc.* 2005. V. 27 (27).
- Lazareva O.F., Kandray K., Acerbo M.J. Hippocampal lesion and transitive inference: Dissociation of inference-based and reinforcement-based strategies in pigeons. *Hippocampus*. 2015. V. 25 (2). P. 219–226.
<https://doi.org/10.1002/hipo.22366>
- Lee Y., Kwon Y. Understanding mechanisms in transitive inferences: an eye-tracking study in Korean reading. *Perceptual and motor skills*. 2013. V. 117 (3). P. 761–774.
<https://doi.org/10.2466/22.24.pms.117x28z1>
- Mata A., Ferreira M.B., Voss A., Kolle T. Seeing the conflict: an attentional account of reasoning errors. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2017. V. 24 (6). P. 1980–

1986.
<https://doi.org/10.3758/s13423-017-1234-7>
- Merlo-Ponti M. Fenomenologiya vospriyatiya [Phenomenology of Perception]. Moscow. Nauka Publ, 1999. 608 p. (in Russian).
- Moffitt K. Evaluation of the fixation duration in visual search. *Percept. Psychophys.* 1980. V. 27 (4). P. 370–372.
<https://doi.org/10.3758/BF03206127>
- Orenes I., Beltrán D., Santamaria C. How negation is understood: Evidence from the visual world paradigm. *J. Mem. Lang.* 2014. V. 74. P. 36–45.
<https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.04.001>
- Paivio A. *Mental representations: A dual coding approach.* Oxford Univ. Press, 1990.
- Quayle J.D., Ball L.J. Working memory, metacognitive uncertainty, and belief bias in syllogistic reasoning. *Quarterly J. Exp. Psychol.: Section A.* 2000. V. 53 (4). P. 1202–1223.
<https://doi.org/10.1080/713755945>
- Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin.* 1998. V. 124(3). P. 372–378.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Schroyens W.J., Schaeken W., d'Ydewalle G. The processing of negations in conditional reasoning: A meta-analytic case study in mental model and/or mental logic theory. *Thinking & reasoning.* 2001. V. 7 (2). P. 121–172.
<https://doi.org/10.1080/13546780042000091>
- Sloman S.A. The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological bulletin.* 1996. V. 119 (1). P. 3–10.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.1.3>
- Stanovich K.E., West R.F. Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and brain sciences.* 2000. V. 23 (5). P. 645–665.
<https://doi.org/10.1017/s0140525x00003435>
- Stewart A., Haigh M., Ferguson H. Sensitivity to speaker control in the online comprehension of conditional tips and promises: an eye tracking study. *J. Exp. Psychol.: Learning, Memory & Cognition.* 2013. V. 39 (4). P. 1022–1036.
<https://doi.org/10.1037/a0031513>
- Stuppel E.J.N., Ball L.J., Evans J.S.B., Kamal-Smith E. When logic and belief collide: Individual differences in reasoning times support a selective processing model. *J. Cogn. Psychol.* 2011. V. 23 (8). P. 931–941.
<https://doi.org/10.1080/20445911.2011.589381>
- Tversky A., Kahneman D. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science.* 1974. V. 185 (4157). P. 1124–1131.
<https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
- Wagner J.B., Hirsch S.B., Vogel-Farley V.K., Redcay E., Nelson C.A. Eye-Tracking, Autonomic, and Electrophysiological Correlates of Emotional Face Processing in Adolescents with Autism Spectrum Disorder. *J. Autism Dev Disord.* 2013. V. 43 (1). P. 188–199.
<https://doi.org/10.1007/s10803-012-1565-1>
- Wason P.C., Johnson-Laird P.N. *Psychology of reasoning: Structure and content.* Harvard Univ. Press. 1972. V. 86.
- Wason P.C., Evans J.S.B.T. Dual processes in reasoning? *Cognition.* 1974. V. 3 (2). P. 141–154.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(74\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0010-0277(74)90017-1)
- Yarbus A.L. Rol' dvizhenii glaz v protsesse zreniya [The role of eye movements in vision]. Moscow. Nauka Publ, 1965. 166 p. (in Russian).
- Zwaan R.A. The experiential view of language comprehension: How is negation represented. Higher level language processes in the brain: Inference and comprehension processes. 2012. P. 255–288.